

APPLICATION UNDER UNITED STATES PATENT LAWS

Atty. Dkt. No. PW 280043
(M#)

Invention: PLASMA PROCESSING APPARATUS AND PLASMA PROCESSING METHOD

Inventor (s): Tadahiro OHMI
Masaki HIRAYAMA
Ryu KAIHARA

Pillsbury Winthrop LLP
Intellectual Property Group
1100 New York Avenue, NW
Ninth Floor
Washington, DC 20005-3918
Attorneys
Telephone: (202) 861-3000

This is a:

- ☐ Provisional Application
- ☐ Regular Utility Application
- ☒ Continuing Application
 - ☒ The contents of the parent are incorporated by reference
- ☐ PCT National Phase Application
- ☐ Design Application
- ☐ Reissue Application
- ☐ Plant Application
- ☐ Substitute Specification
 - Sub. Spec Filed _____
 - in App. No. _____ / _____
- ☐ Marked up Specification re
 - Sub. Spec. filed _____
 - In App. No. _____ / _____

SPECIFICATION

明細書

プラズマ処理装置及びプラズマ処理方法

5 技術分野

本発明は一般的にプラズマ処理装置に係わり、特にプラズマ処理が行われる基体の面に対して磁場を印加するプラズマ処理装置、及びそのようなプラズマ処理装置により行われるプラズマ処理方法に関する。

10 背景技術

シリコン酸化膜や多結晶シリコン膜のエッチングは、半導体の生産において最も重要な行程の1つであり、このようなエッチングとしてプラズマエッチングが用いられるようになっている。プラズマエッチングにより $1.0\mu\text{m}$ 以下の微細なパターンを形成するには、例えば、 0.5Pa 以下のプロセス圧力において、 $1\text{mA}/\text{cm}^2$ 以上のイオン電流密度、及び $1\times 10\text{cm}^{-3}$ 以上の電子密度を有するプラズマが必要である。しかし、従来使用されてきた通常の平行平板型のR I E装置は、このような条件のプラズマを生成することができなかった。

上述のプラズマ性能を達成するために、磁場を用いたプラズマ発生装置が開発されている。このようなプラズマ発生装置を搭載した装置として、特開平6-37056号公報は、ダイポールリングマグネットを利用したマグネトロンプラズマエッチング装置を開示している。

ダイポールリングマグネットを用いたマグネトロンプラズマ装置は、低圧・高密度プラズマの生成が可能であるが、基体上で生成されるプラズマを高精度で制御することは難しい。すなわち、基体上に水平磁場を導入することにより、基体上におけるプラズマ密度の均一化及びセルフバイアス電圧の均一化を達成することが困難となってしまう。

プラズマ密度及びセルフバイアス電圧の均一化を図る解決法として、磁場に勾配を持たせる方法（特開昭62-21062号公報）、あるいはプロセス空間中

に導入した磁場を回転させる方法（特開昭61-208223公報）などが提案されている。しかしながら、特開昭62-21062号公報により提案された解決法はプロセス圧力などを変えた場合に勾配磁場の最適値が変化してしまうという問題がある。また、特開昭61-208223公報により提案された解決法

5 は、処理中の基体に対して見かけ上プラズマの均一化が図られているが、磁場を回転させるための機構が必要であり、プラズマ装置全体の小型化が難しいという問題がある。

上述の問題を解決するために、補助電極に高周波電力を印加することにより均一水平磁場を発生させてプラズマを均一化する方法が提案されている。この解決

10 方法では、上部電極の外周囲に設けられた補助電極の表面において、下部電極上に載置する基体の表面で発生する電子ドリフトとは逆方向の電子ドリフトを発生させ、これによりプラズマ中の電子の循環を促し、電子の偏りを防止するものである。この解決法によれば、プロセス圧力などを変えた場合でも補助電極に印

15 加する高周波の電力を変化させることでプラズマの均一化を図ることが可能である。また、磁場を回転させる必要もないため、プラズマ装置の小型化を図ることが可能である。

しかし、DRAMやMPUなどの半導体チップサイズの増大に伴い、その基体として用いられるシリコン基板の直径も次第に大きくなってきている。例えば、直径300mm以上の基体を処理するプラズマ装置において圧力分布を数パー

20 セント以内に抑えるためには、基体と上部電極との間の距離を30mm以上に設定する必要がある。このような距離では、基体表面から補助電極表面、および補助電極から基体表面に向かう電子の拡散が小さくなり、その結果、電子の移動が妨げられてプラズマを均一化することが困難となる。

また、マグネトロンプラズマ源を用いた従来のスパッタ装置では、ターゲット

25 材の削れ量が不均一であり、ターゲットの使用効率が50%未満であるという問題があった。これを解決する手段として、概ね均一な平行磁場を用いるという方法が考えられるが、その場合には磁場や基体を処理中に回転させる必要がある。そのため、基体上に成膜された薄膜中のストレスが基体全体におよび、後工程に

おける加工時にストレスが開放されて基体が変形してしまうという問題がある。
さらに、成膜中の基体表面が不均一なプラズマに曝されるため、基体全面での膜質の制御が非常に難しく、例えば銅配線を形成するためのスパッタ成膜では、形成された銅配線の抵抗値が目標値（理論値）より数倍も大きくなってしまいう問題がある。

発明の開示

本発明の総括的な目的は、上述の問題を解決した改良された有用なプラズマ処理装置を提供することである。

- 10 本発明のより具体的な目的は、基体上の圧力分布を均一に保ったまま、基体表面に対する生成プラズマ密度を均一化し、且つセルフバイアス電位を均一化することのできるプラズマ処理装置を提供することである。

また、本発明の他の目的は、基体に対して均一且つチャージアップダメージのないエッチングを行うことのできるプラズマ処理装置を提供することである。

- 15 また、本発明の更に他の目的は、基体に対して均一且つ応力の発生しないスパッタリングを行うことのできるプラズマ処理装置を提供することである。

上述の目的を達成するために、本発明によれば、プラズマ処理が施される基体を載置するように構成された第一の電極と、該基体のプラズマ処理が施される面に対して磁場を印加する磁場印加手段とを有するプラズマ処理装置において、
20 第一の電極の外周囲に補助電極を設け、補助電極によりプラズマを励起して、プラズマ中の電子を補助電極の表面から裏面へ、且つ補助電極の裏面から表面へドリフトさせることを特徴とするプラズマ処理装置が提供される。

- 補助電極の表面は絶縁体で覆われていてもよい。また、第一の電極に載置した基体の表面と補助電極の表面との高さが等しいか或いは $\pm 2\text{ mm}$ 以内であることが好ましい。
25 磁場印加手段はダイポールリングマグネットにより構成されていてもよい。また、第一の電極に印加する高周波の周波数 f_1 と補助電極に印加する高周波の周波数 f_2 とは等しく且つ位相が異なることが好ましい。更に、補助電極に印加される高周波の周波数 f_2 は、第一の電極に印加される高周波の周波

数 f_1 より大きい ($f_2 > f_1$) ことが好ましい。

本発明の他の目的、特徴及び利点は、添付の図面を参照しながら以下の詳細な説明を読むことにより一層明瞭となるであろう。

5 図面の簡単な説明

図 1 は本発明の第 1 実施例によるプラズマ処理装置の構成図である。

図 2 は図 1 に示すプラズマ処理装置における基体と第 1 の電極と補助電極との斜視図である。

図 3 は補助電極の平面図である。

10 図 4 は補助電極の変形例を示す平面図である。

図 5 は本発明の第 1 実施例によるプラズマ処理装置において測定されたセルフバイアス電位を示すグラフである。

図 6 は本発明の第 1 実施例によるプラズマ処理装置において測定されたイオン電流密度を示すグラフである。

15 図 7 は本発明の第 2 実施例によるプラズマスパッタ成膜装置の構成図である。

図 8 は本発明の第 3 実施例における補助電極の断面図である。

図 9 は補助電極に印加する高周波電力において、セルフバイアス電位を最も均一にできる高周波電力を、補助電極の表面を絶縁体で覆った場合と覆わない場合とについて示すグラフである。

20 図 10 は処理チャンバの内壁の消耗量を示すグラフである。

図 11 は補助電極に第一の電極に印加する高周波電力よりも高い周波数である高周波電力を印加して、補助電極消耗量を測定した結果を示すグラフである。

25 図 12 は第一の電極の上面と補助電極の上面の高さの差によって、セルフバイアス電位を均一するために必要な補助電極に印加する高周波電力の変化を示すグラフである。

図 13 は、第 1 の電極表面が補助電極の表面より高い場合における電子ドリフトの挙動を示す図である。

図14は、第1の電極の表面が補助電極の表面より低い場合における電子ドリフトの挙動を示す図である。

発明を実施するための最良の実施の形態

- 5 以下に本発明の実施例について図面を参照しながら説明する。

図1は本発明の第1実施例によるプラズマ処理装置の構成図である。図1に示されるプラズマ処理装置において、プラズマ処理が施される基体101は、電極102の上に載置されている。基体101の表面にプラズマを励起することにより、基体101に対してプラズマ処理が行われる。

- 10 基体101が収容された処理チャンバ108の周囲には、磁場を印加する手段としてダイポールリングマグネット103が設けられている。磁場を印加する手段として、永久磁石や電磁石を用いてもよいが、設置容積、使用電力、漏洩磁場などを考慮するとダイポールリングマグネットを用いることが好ましい。

- 15 第一の電極102の外周囲には、補助電極104が設置されている。補助電極は、第一の電極102の外周部すべてを取り囲むか或いは外周の一部分を囲うものであってもよい。補助電極104はその裏面105および表面106付近にプラズマを励起するために設けられている。

- 20 図2は図1に示すプラズマ処理装置における基体101と第1の電極102と補助電極104との斜視図である。矢印204は補助電極104の裏面105から表面106への電子のドリフトを示し、矢印205は補助電極104の表面106から裏面105への電子のドリフトを示す。点線で示す矢印206は、補助電極104の裏面105付近での電子のドリフトを示し、矢印207は基体101の表面付近及び補助電極104の表面106付近での電子のドリフトを示す。矢印204、205、206および207で示される電子のドリフトは、磁場又は磁場とプラズマと基体及び補助電極の間に発生するシース電界との相互作用により発生する。

- 25 従来のマグネトロンプラズマ装置では、矢印204、205及び206で示す電子のドリフトがほとんど発生せず、矢印207で示す電子のドリフトだけが発生する。このため、プラズマ中の電子がW極に偏り、プラズマが不均一になって

しまう。

しかし、本実施例によるプラズマ処理装置において、基体101の表面及び補助電極104で発生した電子は、基体の表面および補助電極104の表面での電子のドリフト(矢印207で示す)、補助電極104の表面106から裏面105への電子のドリフト(矢印205で示す)、補助電極104の裏面106での電子のドリフト(矢印206で示す)、補助電極104裏面105から表面106への電子のドリフト(矢印204で示す)、および電子の拡散運動により流動することとなる。この電子の流動により、プラズマ中の電子が印加された磁場のある方向に偏ることが防止され、プラズマ全体の均一化が達成される。

- 10 以上のように、図1に示すプラズマ処理装置は、プラズマ処理が行われる基体101が載置される第一の電極102と、プラズマ処理が行われる面に対して磁場を印加する印加手段103と、第一の電極102の外周囲に配置された補助電極104とを有し、補助電極104の表面106及び裏面105にプラズマを励起することにより、プラズマ中の電子を補助電極104の表面106から補助電極の裏面105且つ補助電極104の裏面105から表面106へと移動(ドリフト)させる。

次に、図1に示すプラズマ処理装置をプラズマエッチング装置として用いる場合の構成について説明する。

- 図1に示す処理チャンバ108はアルミニウム製であり、その底部には排気手段としてターボ分子ポンプ302が設けられている。ターボ分子ポンプ302はチャンバ301内部の気体を排気して減圧する。また、処理チャンバ108にはガス導入手段としてガス導入口303が設けられおり、 C_4F_8 、一酸化炭素、酸素、キセノン等の気体がガス導入口303から処理チャンバ108内に導入される。ガスの導入とターボ分子ポンプ302による排気とにより、処理チャンバ108内は所望の圧力に維持される。上述の気体の組み合わせはこの限りではなく、その他の例として C_4F_8 、一酸化炭素、酸素、アルゴンなどがある。また、 C_4F_8 、一酸化炭素、酸素、キセノンは、過度のガスの解離を抑え、エッチング特性を向上できるので好ましい。

第一の電極102は整合回路305を介して周波数13.56MHzの高周波

電源 306 に接続されている。高周波電源の周波数は、27.12 MHz 又は 40 MHz とすることもできるが、酸化膜のエッチングの場合はプラズマのセルフバイアス電位が大きくなる 13.56 MHz 付近の高周波が好ましい。絶縁膜エッチングにおいては、初期段階には高セルフバイアスになるように設定して高速でエッチングを行い、エッチング終了段階には低セルフバイアスになるように設定することが好ましい。これにより、絶縁膜の下地のダメージを低減することができる。

第一の電極 102 の上方には、接地された第二の電極 307 が設けられている。本実施例では第二の電極 307 として平行平板型電極を用いているが、マルチターゲット型、マイクロ波励起型、電子サイクロトロン共鳴型、誘導結合型などのプラズマ源電極としてもよい。エッチング特性の向上のためには平行平板型が好ましい。第一の電極 102 の表面には、シリコン酸化膜を有するシリコンの基体 101 が載置される。

補助電極 104 は整合回路 310 を介して周波数 100 MHz の高周波電源 311 に接続されている。本実施例における磁場印加手段 103 は、12 mT (120 Gauss) のダイポールリングマグネットである。

図 3 は補助電極 104 の平面図である。本実施例ではリング状の補助電極 104 を用いているが、図 4 に示す補助リング 104A ようにリングを 4 分割した形状としてもよい。この場合、分割した各部分の間の距離 D は、電子のサイクロイド半径以内である 2 mm 以内とすることが好ましい。

図 2 に示すように、補助電極 102 を第一の電極 104 の外周囲に設置することにより、基体 101 の表面及び補助電極 104 の表面 106 では印加した磁場の E 極から W 極への電子のドリフト（矢印 207 で示す）が発生し、補助電極 104 の裏面 105 では印加した磁場の W 極から E 極への電子のドリフト（矢印 206 で示す）が発生する。また、補助電極 104 の W 極側では表面 106 から裏面 105 への電子のドリフト（矢印 205 で示す）が発生し、補助電極 104 の E 極側では裏面 106 から表面 105 への電子のドリフト（矢印 204 で示す）が発生する。このような電子のドリフトにより、プラズマ中の電子が流動を起こすことで電子の偏りを防止することができ、プラズマの均一化が達成される。

図5は本実施例によるプラズマ処理装置において測定されたセルフバイアス電位を示すグラフである。補助電極104を設けた場合と設けない場合について測定を行った。補助電極104を設けない場合は、通常のマグネトロンプラズマ装置の構成と同等である。図5のグラフからわかるように、補助電極104を設けない場合は、セルフバイアスが基体上のE極側とW極側で20Vのセルフバイアス電位差が発生した。しかし、本実施例のように補助電極104を第一の電極102の外周囲に設置することにより、セルフバイアス電位差を2Vにすることができた。

図6は本実施例のプラズマ処理装置において測定されたイオン電流密度を示すグラフである。補助電極104を設けない場合は、基体上のE極側でイオン電流密度が極端に低下した。しかし、本実施例のように、補助電極104を第一の電極の外周囲に設置することにより、E極側でのイオン電流の低下はなくなり、均一なイオン電流密度を基体上で達成することができた。

本実施例によるプラズマエッチング装置を用いて、処理チャンバ108にC₄F₈、一酸化炭素、酸素、キセノンの混合ガスを導入し、チャンバ圧力を5Paに設定してシリコン基体のエッチングを行った。シリコン基体は、表面に厚さ1.6μmのシリコン酸化膜が形成されており、直径は200mmであった。第一の電極102に高周波電力1500Wを供給し、補助電極104に高周波電力200Wを供給したところ、エッチング速度の均一性は±2%であった。

次に、本発明の第2実施例について、図7を参照しながら説明する。図7は本発明の第2実施例によるプラズマスパッタ成膜装置の構成図である。図7において、図1に示す構成部品と同等な部品には同じ符号を付し、その説明は省略する。

図7に示す処理チャンバ108はアルミニウム製であり、内面にフッ化処理を施してフッ化アルミニウムを形成し保護膜としている。処理チャンバ108はこのような構成に限定されず、水分などプロセスガス以外のガス放出の極量少ない内面とすることが好ましい。図1に示すプラズマ処理装置と同様に、ターボ分子ポンプ302を用いて処理チャンバ108内部を減圧している。また、ガス導入手段としてのガス供給路803からアルゴンガスを処理チャンバ108内に導入

している。使用するガスはアルゴンガスに限られず、キセノンやクリプトンと酸素の混合ガスなどが使用される。銅スパッタ成膜用としてはアルゴンガスが好ましい。

5 第一の電極102は整合回路305を介して周波数13.56MHzの高周波電源306に接続されている。高周波電源306の周波数はこの限りではなく、27.12MHzや40MHzなどがあるが、スパッタにはターゲット表面に発生するセルフバイアス電位が大きくなる13.56MHz付近の周波数が好ましい。第一の電極102の表面に銅ターゲットとしての基体807が取り付けられる。本実施例では銅製のターゲットとしたが、銅に限定されるわけではなく、成膜
10 したい材料をターゲットとして取り付ければよい。補助電極104は整合回路310を介して周波数100MHzの高周波電源311に接続されている。磁場印加手段として12mT (120 Gauss) のダイポールリングマグネット103が用いられている。

15 第一の電極102と対向する位置に第二の電極812が配置されている。第二の電極812上には、表面にシリコン酸化膜が形成されたシリコンの基体813が載置される。また第二の電極812は整合回路814を介して周波数40MHzの高周波電源815に接続されている。高周波電源815の周波数はこの限りではなく、13.56MHzや27.12MHzとしてもよい。シリコン基体に照射するイオンの量を増加し、発生するセルフバイアス電位を低下させるために
20 は高い周波数が好ましい。

本実施例によるスパッタ装置を用いて、シリコン基体813に対して銅のスパッタ成膜を行った。処理チャンバ108にはアルゴンガスを導入し、圧力を0.1Paに設定した。第一の電極102に高周波電力1500Wを供給し、補助電極104に高周波電力200Wを供給した。この結果、全く応力のない、膜厚均
25 一性±2%及び抵抗率が $2.76\mu\Omega\cdot\text{cm}$ の銅薄膜を基体813上に形成することができた。

次に、本発明の第3実施例によるプラズマエッチング装置について説明する。本発明の第3実施例によるプラズマ処理装置は、図1に示した平行平板型プラズマエッチング装置において、補助電極104の代わりに表面が絶縁体により覆わ

れた補助電極を設けたものである。

図8は本実施例における補助電極901の断面図である。補助電極901は補助電極104の表面106に絶縁体902を形成したものである。本実施例では、絶縁体902を窒化アルミニウムAlNにより形成したが、石英、アルミナ、
5 テフロン、ポリイミドなどで形成してもよい。AlNは熱伝導率が高いこと及びプラズマ耐性が高いという点で好ましい。なお、補助電極901の他の構成部品は図1に示す部品と同じであり、その説明は省略する。

図9は、補助電極に印加する高周波電力において、セルフバイアス電位を最も均一にできる高周波電力を、補助電極の表面を絶縁体で覆った場合と覆わない場合
10 合とについて示すグラフである。補助電極の表面を絶縁体で覆わなかった場合、セルフバイアス電位を均一にできる高周波電力は200Wであった。一方、絶縁体で覆った場合は100Wであった。

さらに、本実施例のプラズマエッチング装置を用いて、処理チャンバにC₄F₈、一酸化炭素、酸素、キセノンの混合ガスを導入し、チャンバ圧力を5Paに設
15 定してシリコン基板のエッチングを行った。シリコン基板体の表面には1.6μm厚のシリコン酸化膜が形成れ、直径は200mmであった。第一の電極102に高周波電力1500Wを供給し、補助電極901には高周波電力100Wを供給した。その結果、エッチング速度の均一性は±2%であった。

以上のように、補助電極の裏面に効率的にプラズマを励起することで、より少
20 ない高周波電力でセルフバイアス電位を均一化し、均一なエッチングを達成することができた。

次に、上述の第1実施例によるプラズマエッチング装置について更に詳細な測定を行った結果を説明する。

まず、図1に示す平行平板型プラズマエッチング装置において、第一の電極1
25 02に供給される高周波電力と同じ周波数の13.56MHzの高周波電力を、位相を0度から180度まで変化させて補助電極104に供給した場合について説明する。

図10は、上述の条件における処理チャンバの内壁の消耗量を示すグラフである。プラズマを24時間励起した後、処理チャンバ内壁の厚さの変化を測定した

。13.56MHzの高周波を第1の電極102に同位相である0度で印加した場合では、チャンバの厚みは30 μ m減少した。一方、逆位相であるの180度で印加した場合はチャンバの厚みは7 μ m減少し、チャンバの厚みの減少は最も少なかった。

- 5 さらに、本実施例のプラズマエッチング装置を用いて、チャンバ内にC₄F₈、一酸化炭素、酸素、キセノンの混合ガスを導入して圧力を5Paに設定し、表面に1.6 μ m厚のシリコン酸化膜が形成された直径200mmのシリコン基体のエッチングを300回試行した。この結果、チャンバ内壁の消耗は約7 μ mであった。従来のエッチング装置では、同じ条件においてチャンバ内壁は約50 μ m
- 10 消耗する。したがって、本実施例のプラズマエッチング装置を用いることで、チャンバ内壁の消耗を約1/7とすることができた。

以上の結果から、第一の電極102同じ周波数で異なる位相の高周波電力を補助電極に印加することにより、プラズマ電位が低くなるため、チャンバ内壁がスパッタされることを防止することができ、逆位相の時に最もチャンバ壁のスパッタを防止することができることがわかった。

15

次に、補助電極に第一の電極に印加する13.56MHzの高周波電力よりも高い周波数である100MHzの高周波電力を印加して、補助電極104の消耗量を測定した。図11はその測定結果を示すグラフである。

- 図11に示すように、補助電極104に接続された高周波電源311の周波数を高めることによって、補助電極104に発生するセルフバイアス電圧を低く抑えることができ、補助電極104のスパッタによる消耗を抑えることができる。
- 20 この測定では、13.56MHzと100MHzの高周波電力を用いたが、この組み合わせに限定されるものではなく、第一の電極102に27MHz、補助電極104に60MHzの高周波電力を印加することとしてもよい。また、代わりに、
- 25 に、第一の電極102に40MHz、補助電極104に80MHzの高周波電力を印加してもよい。このように、第一の電極102と補助電極104に印加する高周波の周波数は種々考えられるが、補助電極104に印加される高周波の周波数は高いほうが好ましい。

以上のように、補助電極104に接続された高周波電源311の周波数を高め

ることによって、補助電極104に発生するセルフバイアス電圧を低く抑えることができ、補助電極104のスパッタによる消耗を抑えることができる。

さらに、図1に示すプラズマエッチング装置を用いて、上述の条件にて、チャンバ内に C_4F_8 、一酸化炭素、酸素、キセノンの混合ガスを導入し、チャンバ圧力を5Paに設定し、シリコン基体のエッチングを300回試行した。シリコン基体の表面には1.6 μ m厚のシリコン酸化膜が形成されており、直径は200mmであった。補助電極104の消耗を測定した結果、消耗量は5mmであった。従来のエッチング装置での消耗量が65mmであるので、従来と比較して13分の1に低減した。

次に、第一の電極102の表面と補助電極104の表面106の位置関係（高さ関係）によって、セルフバイアス電位を最も均一にできる補助電極に印加する高周波電力を調べた。

図12は第一の電極102の上面と補助電極104の上面106の高さの差によって、セルフバイアス電位を均一するために必要な補助電極に印加する高周波電力の変化を示すグラフである。第一の電極102の上面と補助電極104の上面106の高さが等しい場合は、セルフバイアス電位を均一するために必要な補助電極に印加する高周波電力は100Wであった。高さの差が大きくなるにしたがって、セルフバイアス電位を均一するために必要な補助電極に印加する高周波電力は増大し、高さの差が50mmでは300Wとなった。したがって、第一の電極102の上面と補助電極104の上面106の高さが等しい場合に、セルフバイアス電位を均一するために必要な補助電極に印加する高周波電力を最も低くできることがわかった。

図13は、第一の電極102の表面が補助電極104の表面106より高い場合における電子ドリフトの挙動を示す図である。図14は、第一の電極102の表面が補助電極104の表面106より低い場合における電子ドリフトの挙動を示す図である。

図13に示すように、補助電極104の表面106で発生する電子のドリフトが第一の電極102に衝突して消滅することを防ぐには、第一の電極102の表面の高さと補助電極104の表面106の位置の高さとの差が、電子ドリフトの

サイクロイド半径よりも小さい必要がある。また、基体101の表面で発生する電子ドリフトが補助電極104に衝突して消滅することを防ぐには、第一の電極102の表面の高さと補助電極104の表面106の位置の高さとの差が、電子ドリフトのサイクロイド半径よりも小さい必要がある。

- 5 したがって、補助電極104の表面106を基体101の表面と等しい高さ、又は補助電極104の表面106の高さと基体101の表面の高さの差を2mm以内にすることにより、少ない高周波電力でセルフバイアス電位を均一化することができる。

- さらに、本実施例のプラズマエッチング装置を用いて、処理チャンバに C_4F_8 、一酸化炭素、酸素、キセノンの混合ガスを導入し、チャンバ圧力を5Paに設定してシリコン基体のエッチングを行った。シリコン基板体の表面には1.6 μ m厚のシリコン酸化膜が形成れ、直径は200mmであった。第一の電極102に高周波電力1500Wを供給し、補助電極104には高周波電力100Wを供給した。その結果、エッチング速度の均一性は $\pm 2\%$ であった。
- 10

- 15 以上説明したように、本発明によるプラズマ処理装置によれば、上部電極の形状および距離と全く独立に、基体上の圧力分布を均一に保ったまま、磁場の印加手段を回転させることなく、基体表面に対する生成プラズマ密度の均一化及びセルフバイアス電位の均一化を図ることができ、基体に対して均一旦つチャージアップダメージのないエッチングプロセス、又は、基体に対して均一旦つ応力の発生しないスパッタプロセスを行うことができる。
- 20

また、補助電極の表面を絶縁体で覆うことで、高周波電力効率の高いプラズマ処理装置を実現することができる。

- さらに、第一の電極に載置した基体の表面と補助電極の表面の高さを等しくする、あるいは高さの差を ± 2 mm以内とすることで、高周波電力効率の高いプラズマ処理装置を実現することができる。
- 25

また、磁場の印加手段をダイポールリングマグネットとすることで電力、設置容積、漏洩磁場が少ないプラズマ処理装置を実現することができる。

また、第一の電極に印加する高周波の周波数 f_1 を補助電極に印加する高周波の周波数 f_2 と等しい周波数で異なる位相とすることにより、チャンバ壁のスパ

ツタを防止できるプラズマ処理装置を実現することができる。

さらに、補助電極に印加する高周波の周波数 f_2 を第一の電極に印加する高周波の周波数 f_1 より大きくする ($f_2 > f_1$) ことで、補助電極の消耗が抑制されたプラズマ処理装置を実現することができる。

5

10

15

20

25